

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Стрельцова Інна Миколаївна

УДК 622.23.05

**ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД
МАГНІТНО-ГІДРОКАВІТАЦІЙНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ**

Спеціальність 05.15.09 – Геотехнічна і гірнича механіка

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі електромеханічного обладнання енергоємних виробництв в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник –

доктор технічних наук, професор
Терентьєв Олег Маркович,
Національний технічний університет
України «Київський політехнічний
інститут», професор кафедри
електромеханічного обладнання
енергоємних виробництв

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук
Войтенко Юрій Іванович,
головний науковий співробітник
Українського державного
геологорозвідувального Інституту
Міністерства екології та природних
ресурсів України;

кандидат технічних наук
Дякун Роман Анатолійович,
науковий співробітник відділу
управління динамічними проявами
гірського тиску Інституту
геотехнічної механіки
ім. М.С. Полякова НАН України.

Захист відбудеться «09» червня 2016 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.22 в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» за адресою: 03056, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, ауд. 701.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» за адресою: 03056, м. Київ-56, просп. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий «30» квітня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к. т. н., доц.

В. В. Вапнічна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Руйнуванням гірських порід, удосконаленням старих і розробкою нових способів займалися: В. В. Бойко, В. І. Бондаренко, В. І. Брилін, В. Л. Бритаєв, О. О. Вовк, В. Д. Воробйов, Ю. В. Горюнов, С. М. Журков, В. Г. Кравець, Ф. І. Кучерявий, В. З. Партон, Н. С. Ремез, О. О. Скочинський, О. М. Терпигорьєв, Л. Д. Шевяков, Є. І. Шемякін та інші. На сьогодні основним серед способів відділення гірської породи з масиву є вибуховий. Одним із аспектів, від якого залежить ефективність руйнування гірської породи даним способом є етап підготовки масиву до вибуху. Він передбачає створення і заряджання вибухівкою шпурів та свердловин. На даний час у вітчизняній гірничій промисловості використовують способи руйнування, що мають високу питому енергоємність в декілька тисяч МДж/м³: гідравлічний, електротермічний, плазмовий, термошарошковий тощо. Способи руйнування, що забезпечують меншу енергоємність, також мають ряд недоліків, а саме: використання механічного – обмежене міцністю порід до 6 за шкалою Протоцько-Яконова, вибухового – супроводжується утворенням сейсмічних хвиль, забрудненням довкілля. То ж, задача розробки енергозберігаючих способів і обладнання для руйнування гірських порід залишається актуальною.

Аналіз теорій руйнування гірських порід Бонда, Гілмана, Грифітса, Ірвіна, Кірпічова, Орована, Ребіндера, Ретінгера та інших показав, що вони базуються на механіці суцільних середовищ та не враховують молекулярну будову гірської породи. Наявність вказаних недоліків призводить до збільшення енерговитрат і зниження коефіцієнту корисної дії.

Створення нового математичного апарату та його практична апробація, дозволяє врахувати технологічні та фізико-механічні показники руйнування гірських порід. Для цього необхідно розглянути сукупну дію внутрішніх та зовнішніх навантажень на молекулярному рівні. Це є актуальною науково-технічною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана на кафедрі електромеханічного обладнання енергоємних виробництв відповідно до плану наукових досліджень кафедри і є складовою частиною НДР: «Удосконалення електромеханічних систем геотехнічних виробництв» Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту» (№ ДР 0113U007402), у якій автор брала участь, як виконавець.

Метою роботи є зниження енергоємності руйнування гірських порід зміною їх питомої поверхневої енергії при обертово-гідрокавітаційному навантаженні з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку.

Для досягнення мети поставлені наступні **завдання**:

1. Отримати залежності зміни питомої поверхневої енергії гірських порід від магнітної індукції та геометрії дифузора кавітатора.
2. Встановити залежності зміни енергоємності руйнування від питомої поверхневої енергії гірських порід.

3. Визначити залежності зміни енергоємності процесу руйнування при обертово-гідрокавітаційному навантаженні з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку від магнітної індукції у дифузорі кавітатора.

4. Обґрунтувати режим гідрокавітаційного навантаження гірських порід з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку.

Об'єкт дослідження – процес розміщення гірських порід гідрокавітаційним навантаженням з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку.

Предмет дослідження – залежності зміни питомої поверхневої енергії та енергоємності руйнування гірських порід від магнітної індукції та довжини дифузору кавітатора при гідрокавітаційному навантаженні з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку.

Методи дослідження. При виконанні роботи використані наступні методи: *аналітичний* – для встановлення залежностей та закономірностей енергоємності руйнування гірських порід від питомої поверхневої енергії при обертово-гідрокавітаційному навантаженні з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку; *математичного моделювання* – для складання моделей енергоємності руйнування поверхневої енергії гірських порід від виробничих умов видобутку корисних копалин та геометричних параметрів кавітатора різця кавітаційного; *планування експерименту* – для обрання і обґрунтування необхідної і достатньої кількості дослідів та параметрів, що впливають на питому поверхневу енергію гірських порід; *експериментальної апробації* – для перевірки теоретичних положень роботи в лабораторних і виробничих умовах; *техніко – економічного аналізу* – для оцінки доцільності практичної реалізації отриманих результатів.

Наукова новизна представлена у вигляді наукових положень і полягає у тому, що вперше:

1. Отримано залежності питомої поверхневої енергії руйнування гірських порід: спадно-зростаюча від магнітної індукції в діапазоні від 15 мТл до 45 мТл та спадна від довжини дифузору кавітатора робочого інструменту від 10 мм до 50 мм та куті його розкриття 60^0 .

2. Встановлено залежність енергоємності руйнування від питомої поверхневої енергії при обертово-гідрокавітаційному навантаженні з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку, яка спадає за логарифмічним законом: для гнейсу з $61 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$ до $57 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$ та для граніту з $73 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$ до $68 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$ при зниженні питомої поверхневої енергії гнейсу з $43,0 \text{ Дж} / \text{м}^2$ до $39,5 \text{ Дж} / \text{м}^2$ та граніту з $52,4 \text{ Дж} / \text{м}^2$ до $48,7 \text{ Дж} / \text{м}^2$.

3. Визначено, що при обертово-гідрокавітаційному навантаженні з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку питома енергоємність змінюється за поліноміальним законом при зміні магнітної індукції в діапазоні (0...45) мТл. При цьому спостерігається зниження енергоємності руйнування пружно-крихких гірських порід на 11 % при магнітній індукції 15 мТл.

4. Обґрунтовано режим гідрокавітаційного навантаження з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку для забезпечення зростання кількості локальних дефектів для пружно-крихких порід до 20 одиниць на 1 мм^2 , з середньою довжиною, шириною і глибиною відповідно 100, 10 і 5 мкм при магнітній індукції 15 мТл, куті розкриття дифузора 60° з довжиною 30 мм.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- розроблено обертово-гідрокавітаційний спосіб руйнування гірських порід з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку та інструмент для його реалізації, захищений патентом України UA №101946 МПК E21B 7/18. Використання запропонованого способу і інструменту в умовах Товкачівського гірничо-збагачувального комбінату забезпечило зниження енергоємності руйнування пружно-крихких гірських порід на 11 %;

- встановлено рекомендації щодо значень параметрів руйнування гірських порід обертово-гідрокавітаційним навантаженням з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку: магнітна індукція 15 мТл, довжина дифузору кавітатора робочого інструменту 30 мм та кут розкриття 60° .

Досліджене у дисертації фокусування кавітаційного потоку за допомогою постійного магнітного поля дозволило забезпечити захист робочого інструменту від дії кавітації.

Основні положення дисертаційної роботи використані у навчальному процесі при викладанні дисципліни «Техніка і технологія переробки гірських порід» для студентів гірничих спеціальностей Інституту енергозбереження та енергоменджменту НТУУ «КПІ».

Особистий внесок здобувача у роботах опублікованих у співавторстві: [1] – аналіз існуючих математичних моделей питомої поверхневої енергії; [2] – створення класифікаційних графів способів руйнування гірських порід; [3] – створення схеми експериментального стенду для дослідження зміни питомої поверхневої енергії гірських порід при руйнуванні обертово-гідрокавітаційним способом з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку та визначення необхідної кількості дослідів; [4] – експериментальне дослідження зони передруйнування, створеної гідрокавітаційним навантаженням з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку; [5] – експериментальне дослідження міцнісних параметрів гірських порід після їх обробки гідрокавітаційним навантаженням з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку; [6] – створення математичної моделі енергоємності руйнування гірських порід в залежності від питомої поверхневої енергії; [7] – створення конструкції різця кавітаційного; [8] – створення математичного апарату для визначення довжини кавітаційної зони при обертово-гідрокавітаційному способі руйнування гірських порід; [9] – обґрунтування обраних параметрів управління питомою поверхневою енергією при руйнуванні гірських порід; [10] – створення математичної моделі питомої поверхневої енергії; [11] – обґрунтування доцільності використання додаткового гідрокавітаційного навантаження з магнітно-індукційним

фокусуванням кавітаційного потоку при руйнуванні гірських порід; [12] – опис фізичної суті явища прецесування кавітаційного потоку під дією магнітного поля; [13] – обґрунтування актуальності створення нового енергозберігаючого способу руйнування гірських порід; [14] – проведення аналізу критеріїв руйнування Ірвіна, Орована, Грифітса та інших.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні положення дисертації доповідались на Міжнародних науково-практичних конференціях: «Энергетика. Экология. Человек. Перспективы развития горного дела и подземного строительства» (м. Київ, НТУУ «КПІ», 23 – 24 травня 2013 р., 27-29 травня 2015 р.); «Theoretical & Applied Science» (Сербія, Неопланта 30.12.2013; Швеція, Лінкопінг 28.02.2014); «Сталий енергетичний розвиток: сучасні тенденції, технології та рішення» (м. Київ 24.09.14)»; II Аспірантські читання 2014 пам'яті А. В. Праховника (м. Київ, НТУУ «КПІ», 16-17 квітня 2014 р.) та на Міжнародному форумі-конкурсі молодих вчених «Проблеми надрокористування». (Санкт-Петербург, Росія, Національний мінерально-сировинний університет «Гірничий», 24 – 26 квітня 2013 р.).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 14 наукових праць, у тому числі 6 статей у наукових фахових виданнях України, 5 з яких включені до міжнародних наукометричних баз, 1 патент на корисну модель, 7 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, додатків, списку використаних літературних джерел, який містить 158 найменувань. Основний текст викладено на 119 сторінках друкованого тексту, містить 29 рисунків, 16 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми дисертації, зазначено зв'язок роботи з науковими програмами, темами і планами, сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет досліджень, наведено методи проведення досліджень, показано наукову новизну і практичне значення отриманих в дисертації результатів, вказано особистий внесок здобувача, наведено дані про впровадження результатів роботи, їх апробацію та публікації.

У першому розділі дисертації проаналізовано способи руйнування гірських порід: гідравлічні, вибухові, фізичні, хімічні та комбіновані. Виділено їх переваги та недоліки з точки зору енергоємності, продуктивності, впливу на довкілля, можливості застосування для руйнування гірських порід з різними фізико-механічними властивостями тощо. На основі системного аналізу запропоновано новий комбінований енергозберігаючий обертово-гідрокавітаційний спосіб з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку (далі МІФКП). Розробка способу базується на електрокінетичному ефекті Рейса, що забезпечує фокусування кавітаційного потоку під впливом магнітного поля. Це супроводжується прецесуванням кавітаційних каверн за ларморовим колом з частотою ($10^8 \dots 10^9$) Гц. Завдяки цьому відбувається

концентрація енергії кавітаційного потоку на поверхні гірських порід та наближення зовнішніх субрезонансних частот до власної частоти коливань кристалічної структури. При цьому виникають додаткові локальні внутрішні енергетичні джерела розміщення порід у місцях схлопування кавітаційних каверн. Вони спричиняють виникнення додаткової штучної дефектності і розміщення гірських порід.

Математичні моделі для вирішення задач теорії руйнування представлені у роботах Кулона, Сен-Венана, пізніше Гілмана, Грифітса, Журкова, Ірвіна, Мора, Новацького, Орована, Панасюка, Прандтля, Райса, Треска, Шемякіна, Шлейхера, Фрідмана та інших. Відомі моделі критеріїв руйнування побудовані на методах механіки суцільних середовищ. Вони враховують енергетичні та міцнісні параметри руйнування. У більшості з них виділено питому поверхневу енергію, як параметр, що визначає умови розкриття тріщин та руйнування гірських порід і пов'язаний з розривом молекулярних зв'язків.

Для теоретичного опису зміни питомої поверхневої енергії руйнування порід при різних режимах навантаження, обрано базову модель Гілмана, що експериментально підтверджена Обреїмовим. Переваги її полягають у тому, що вона враховує один з основних міцнісних параметрів – модуль пружності та параметри молекулярної структури гірських порід – радіус дії молекулярних зв'язків α_0 та відстань між сусідніми площинами розщеплення Y_0 , м:

$$\gamma = E \cdot \alpha_0^2 / (Y_0 \cdot \pi^2). \quad (1)$$

Тому, для досягнення мети поставленої у роботі необхідно в подальшому визначити зв'язок між енергоємністю руйнування та питомою поверхневою енергією руйнування гірських порід під дією додаткового гідрокавітаційного навантаження з МІФКП.

У другому розділі обрано незалежні змінні параметри експериментальних досліджень: довжина дифузору кавітатора та магнітну індукцію всередині різця кавітаційного для визначення зміни питомої поверхневої енергії під дією гідрокавітаційного навантаження з МІФКП. Вибір цих параметрів обумовлений тим, що від них залежить виникнення і характер перебігу кавітаційного процесу. Кавітація у потоці промивної рідини обумовлює утворення дефектності поверхні гірських порід при руйнуванні та, як наслідок, зміну питомої поверхневої енергії.

Цільовою функцією оптимізації обрано питому поверхневу енергію гірських порід при гідрокавітаційному навантаженні з МІФКП. Задачею оптимізації є знаходження значень довжини дифузора та магнітної індукції всередині різця кавітаційного, що забезпечують мінімальну питому поверхневу енергію. Для визначення залежності питомої поверхневої енергії гірських порід від магнітної індукції всередині різця кавітаційного (x_1); довжини дифузора різця кавітаційного (x_2) прийнято повночинниковий експеримент вигляду 3^k (k – кількість змінних параметрів). Досліджувані змінні варіюються на трьох

рівнях: максимальному (+), мінімальному (-) і розташовані симетрично відносно нульового рівня (0). Значення незалежних змінних параметрів та інтервалів варіювання представлені у табл. 1

При такій кількості рівнів, для дослідження питомої поверхневої енергії, обрано ненасичений центральний композиційний план, встановлена необхідна і достатня кількість основних дослідів, що дорівнює 9.

Таблиця 1

Значення незалежних змінних параметрів та інтервалів варіювання

Найменування і позначення чинників	Рівні варіювання			Інтервали варіювання
	-1	0	+1	
1	2	3	4	5
Магнітна індукція B , мТл	15	30	45	15
Довжина дифузора різця кавітаційного l_0 , мм	10	30	50	20

Кількість повторних дослідів у кожній точці – 3. Сформована матриця планування експериментального дослідження питомої поверхневої енергії гірських порід в явному та не явному вигляді. Також представлено схему стенду для експериментальних досліджень зміни питомої поверхневої енергії під дією гідрокавітаційного навантаження з МІФКП.

У третьому розділі розглянуто базові параметри, що визначають питому поверхневу енергію, згідно (1). У результаті виведені їх математичні моделі з урахуванням молекулярних та фізико-механічних параметрів: модуль пружності (2); радіус дії молекулярних зв'язків (3) та межа міцності на розрив молекулярних зв'язків (4), МПа:

$$E = \frac{2 \cdot c}{(c+1) \cdot a} \cdot Z \cdot Q \cdot \rho \cdot \delta, \quad (2)$$

де c – розмірність простору решітки, ($c=1, 2$ або 3), в. о.; a – параметр решітки; Z – кількість атомних шарів у поверхневому шарі матеріалу, в. о.; Q – питома теплоємність плавлення матеріалу, що руйнується, Дж/кг; ρ – густина матеріалу, що руйнується, кг/м³; δ – товщина поверхневого шару матеріалу, м.

Радіус дії молекулярних зв'язків α_0 , м:

$$\alpha_0 = \frac{\hbar^2 \cdot \nu^2}{\pi \cdot d^2 \cdot m \cdot V^2 \cdot \sigma_p \cdot H}, \quad (3)$$

де $\hbar = 6,6256 \cdot 10^{-34}$ – постійна Планка, Дж·с; ν – власна частота коливань молекули, Гц; d – діаметр молекули, м; m – маса молекули, кг; V – швидкість навантаження породного масиву, м/с; σ_p – межа міцності на розрив

молекулярного зв'язку, Па; H – загальне число атомів (іонів) в упакованні кристалів середовища на площі породи 1 м^2 , в. о.

Межа міцності на розрив σ_p , Па:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{4 \cdot c}{(c+1) \cdot a \cdot \pi \cdot l_{kp}}} \cdot Z \cdot Q \cdot \rho \cdot \delta, \quad (4)$$

де l_{kp} – критична довжина тріщини, м.

Характеристикою кавітаційного потоку є частота прецесії під дією магнітного поля Ω , Гц:

$$\Omega = \varsigma \cdot B = g_q \cdot \frac{\mu_b}{\hbar} \cdot B, \quad (5)$$

де $\varsigma=2,8 \cdot 10^{10}$ – гіромагнітне відношення, А·с/кг; B – індукція постійного магнітного поля, Тл; де g_q – g чинник, в.о.; $\mu_b = 927,4 \cdot 10^{-26}$ – магнетон Бора, Дж/Тл.

Індукція постійного магнітного поля B , в умовах експерименту, є індукцією обмотки постійного струму на кавітаційному різці. З урахуванням математичних перетворень B , Тл:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{L_k}, \quad (6)$$

де $\mu_0=1,257 \cdot 10^{-6}$ – магнітна постійна, Н/А²; I – сила струму, А; N – кількість витків у обмотці, шт.; L_k – довжина котушки, м.

Після узгодження (5) та (6) отримано математичну модель частоти прецесії кавітаційного потоку, Гц:

$$\Omega = g_q \cdot \frac{\mu_b}{\hbar} \cdot \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{L_k} = \frac{K_{em} \cdot I \cdot N}{L_k}, \quad (7)$$

де $K_{em}=3,5 \cdot 10^4$ – електромагнітний коефіцієнт, м/Кл.

Розрахункове значення частоти прецесування кавітаційних каверн, згідно (7), знаходиться в межах $(10^8 \dots 10^9)$ Гц.

У результаті проаналізованих вище моделей та на базі (1) розроблено математичну модель питомої поверхневої енергії гірських порід під дією гідрокавітаційного навантаження з МІФКП, Дж/м²:

$$\gamma = \frac{2 \cdot \hbar^4 \cdot \omega^4 \cdot l_{kp} \cdot N_a^2}{Y_0 \cdot \pi^3 \cdot d^4 \cdot m^2 \cdot V^4 \cdot H^2 \cdot Z \cdot Q \cdot \rho \cdot \delta \cdot \zeta \cdot l_\partial \cdot B}. \quad (8)$$

Розроблена модель відрізняється від відомих тим, що дозволяє врахувати: магнітну індукцію, довжину дифузору робочого інструменту, діаметр, масу молекули, питому теплоту плавлення гірської породи, її густину.

У четвертому розділі представлено лабораторний стенд для експериментальних досліджень зміни питомої поверхневої енергії під дією гідрокавітаційного навантаження з МІФКП, рис. 1:

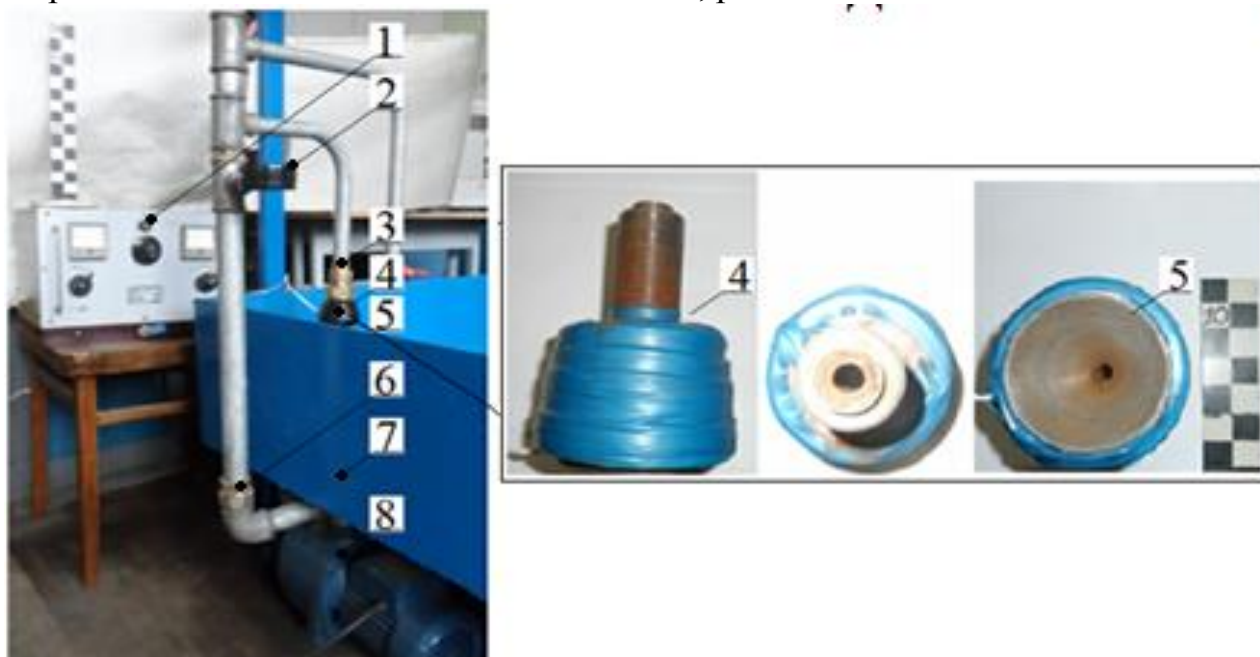


Рис. 1 – Стенд для розміщення гірських порід гідрокавітаційним навантаженням з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку – 1 – випрямляч ВСА-5К; 2 – манометр ДМ 05063; 3 – муфта; 4 – кавітатор; 5 – обмотка індуктивності постійного струму; 6 – трубопровід; 7 – резервуар; 8 – відцентровий насос JEX 500.

Відцентровий самовсмоктуючий насос JEX 500 (позиція 8) забезпечує циркуляцію промивної рідини через трубопровід 6 з кавітатором 4. Тиск у трубопроводі вимірюється манометром ДМ 05063 (позиція 2). Обмотка індуктивності постійного струму 5 служить для створення постійного магнітного поля всередині кавітатора 4 та забезпечує фокусування кавітаційного потоку. Живиться обмотка 5 від електричної мережі 220 В і під'єднана через випрямляч ВСА-5К (позиція 1). Струм і напруга у обмотці постійного струму кавітатора визначались за допомогою амперметра і вольтметра випрямляча ВСА-5К. Магнітна індукція вимірювалась магнітометром НТ20.

Початок кавітаційного режиму характеризується критичним числом кавітації $\tau_{кр}$, відносні одиниці (далі – в. о.). Необхідною умовою перебігу кавітаційного процесу є $\tau \leq \tau_{кр}$.

$$\tau = \frac{2 \cdot (P_1 - P_{nn})}{\rho \cdot v_1^2}; \quad (9)$$

$$\tau_{кр} = \frac{2 \cdot (P_1 - P_{кр})}{\rho \cdot v_1^2}, \quad (10)$$

де P_1 та v_1 – абсолютний тиск та швидкість у незбуреному потоці, відповідно, Па та м/с; P_{nn} – тиск насиченої пари при даній температурі, МПа; ρ – густина промивної рідини, кг/м³; $P_{кр}$ – абсолютний тиск у місцевому звуженні (промивному каналі кавітатора).

З експериментальних досліджень визначено $P_1=0,10$ МПа, $P_{кр}=0,02$ МПа, $v_1=14$ м/с. Таким чином, з (9) та (10) визначено, що $\tau=0,786$, а $\tau_{кр}=0,801$. Тобто, досягнуто кавітаційного режиму згідно умови представленої вище.

Після обробки зразків обраних різновидів гірських порід (пісковіку, вапняку, гнейсу та граніту) гідрокавітаційним навантаженням з МІФКП експериментально досліджено зміну їх модуля пружності при зміні магнітної індукції за допомогою наноіндентометру «Мікрон Гамма», рис. 2.

З залежностей представлених на рис. 2 визначено, що модуль пружності для вапняку зріс з 51,8 до 66,3 ГПа, для пісковіку – з 36,0 до 58,0 ГПа при зміні магнітної індукції в межах (0...15) мТл. Це пов'язано з тим, що під дією гідрокавітаційного навантаження з МІФКП відбувається ущільнення та насичення водою, що сприяє зростанню пружних властивостей матеріалів.



Рис. 2 – Залежності модуля пружності гірських порід від значення магнітної індукції (а) та довжини дифузору кавітатора (б)

Це підтверджено результатами проведеного експерименту. Зростання модуля пружності викликане також формуванням ядра ущільнення. За тими ж причинами спостерігалось зростання модуля пружності вапняку з 51,8 ГПа до 67,5 ГПа та з 36,0 до 51,4 ГПа пісковіку при збільшенні довжини дифузору кавітатора в межах (10...50) мм. Проте, залежності $f=E(B)$ для пісковіку та

вапняку мають спадний характер при магнітній індукції в діапазоні (15...30) мТл. Це обумовлено завершенням процесу ущільнення під дією гідрокавітаційного навантаження з МІФКП. При цьому пісковик та вапняк втрачають від 10 до 30 % пористості. У результаті, починається пружно-крихке руйнування. Залежності $f=E(B)$ досліджуваних пружно-крихких порід при індукції (0...15) мТл спадають: для гнейсу зі 153,6 ГПа до 141,2 ГПа та для граніту зі 105,9 ГПа до 98,4 ГПа. Спад E обумовлений утворенням дефектів та розущільненням під дією гідрокавітаційного навантаження з МІФКП. Далі, при індукції (15...30) мТл спостерігається зростання E : для гнейсу до 176,3 ГПа та для граніту до 123,2 ГПа. Після завершення процесу ущільнення, спостерігається пружно-крихке деформування при індукції (30...45) мТл, зі спадом модуля пружності для граніту до 107,6 ГПа та для гнейсу до 159,8 ГПа. Це обумовлено рухом дислокацій під дією електромагнітного поля і утворенням тріщин.

Дію гідрокавітаційного навантаження з МІФКП на гірські породи розглянуто на прикладі граніту. Фото зразків граніту до і після обробки гідрокавітаційним та гідрокавітаційним з МІФКП навантаженнями наведені на рис. 3а, 3б та 3в, відповідно.

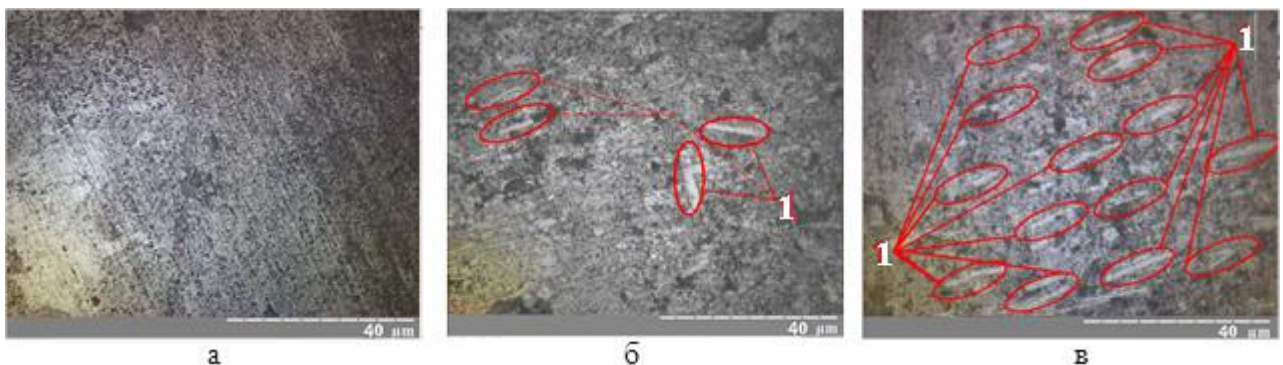


Рис. 3 – Фото зразків граніту: а – до гідрокавітаційного навантаження; б – після обробки гідрокавітаційним навантаженням; в – після обробки гідрокавітаційним навантаженням з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку

З фото представлених на рис. 3 видно, що після обробки породи гідрокавітаційним навантаженням на зразку граніту з'явилися локальні скупчення дефектів у вигляді видовжених кратерів або зона перед руйнування (позиція 1). Кількість локальних дефектів – 4 одиниці на 1 мм^2 , середня довжина – 90 мкм, ширина – 8 мкм, глибина 3,5 мкм. Ці дефекти викликані схлопуванням кавітаційних бульбашок, що супроводжуються локальними викидами енергії. Під час обробки гідрокавітаційним навантаженням з додаванням дії магнітної індукції локальні дефекти утворюються у більшій кількості – 20 одиниць на 1 мм^2 , середня довжина – 100 мкм, ширина – 10 мкм, глибина 5 мкм. Результат пояснюється тим, що на поверхні кавітаційних бульбашок при циркуляції рідини навколо каверни виникають електричні

заряди. Вони групуються вздовж циркуляційних потоків, створюючи циркуляційний струм. При схлопуванні кавітаційної бульбашки (зі зменшенням її розмірів) відбувається концентрація напруженості електричного поля. Під дією цього електричного поля відбувається активація та іонізація газів всередині бульбашки, що завершується електричним розрядом. При створенні у рідині магнітного поля, на міжфазних границях (наприклад, рідина – газ, рідина – тверде тіло) з'являються індукційні струми. У результаті, виникає електричний пробій, який супроводжується появою трьохвалентного кисню O_3 , що сприяє збільшенню кавітаційних бульбашок. Відповідно, інтенсифікується кавітаційний процес. Концентрація кисню у воді при омагніченні зростає на (6...20) % від початкового значення.

Ще однією причиною інтенсивного утворення локальних дефектів при гідрокавітаційному навантаженні з МІФКП є дрібномасштабна турбулізація води біля поверхні домішок. За рахунок дії магнітного поля, турбулізація потоку з деаерацією рідини прискорюється у 2 – 3 рази. Процес супроводжується високоенергетичними реакціями при схлопуванні (колапсі) кавітаційних бульбашок.

Крім того, при гідрокавітаційному навантаженні з МІФКП локальні дефекти граніту (рис. 3), в більшості, мають однонаправлений характер. Це пояснюється орієнтацією руху кавітаційних каверн за ларморовим колом.

Побудовано топографію поверхні гнейсу до гідрокавітаційного навантаження з МІФКП (рис. 4а) та після (рис. 4б) для порівняння геометричних характеристик дефектності. Для цього використано засоби мікроскопічного дослідження безконтактного інтерференційного 3D профілографу «Мікрон Альфа». З аналізу результатів комп'ютерних досліджень профілів поверхонь (рис. 4а та 4б) визначено, що, у середньому, глибина дефектів поверхні після обробки гідрокавітаційним навантаженням з МІФКП при магнітній індукції 15 мТл зростає з 0,6 мкм до 4 мкм. При цьому трьохвимірний площа збільшилась з 3681 мкм² до 3868 мкм², тобто на 5 %.

На 3D моделі поверхні від білого до світло-сірого кольору представлено дефектності (білий колір відповідає найбільшій глибині – 5 мкм). Дефектності є впадинами у вигляді кратерів, що виникли у результаті схлопування кавітаційних бульбашок біля поверхні гірської породи. Їх форма обумовлена кулеподібною формою кавітаційної бульбашки. Площа поверхонь дефектів від загальної площі поверхні досліджуваної ділянки до дії гідрокавітаційного навантаження з МІФКП займає близько 15 %, після навантаження при магнітній індукції 15 мТл – близько 40 %.

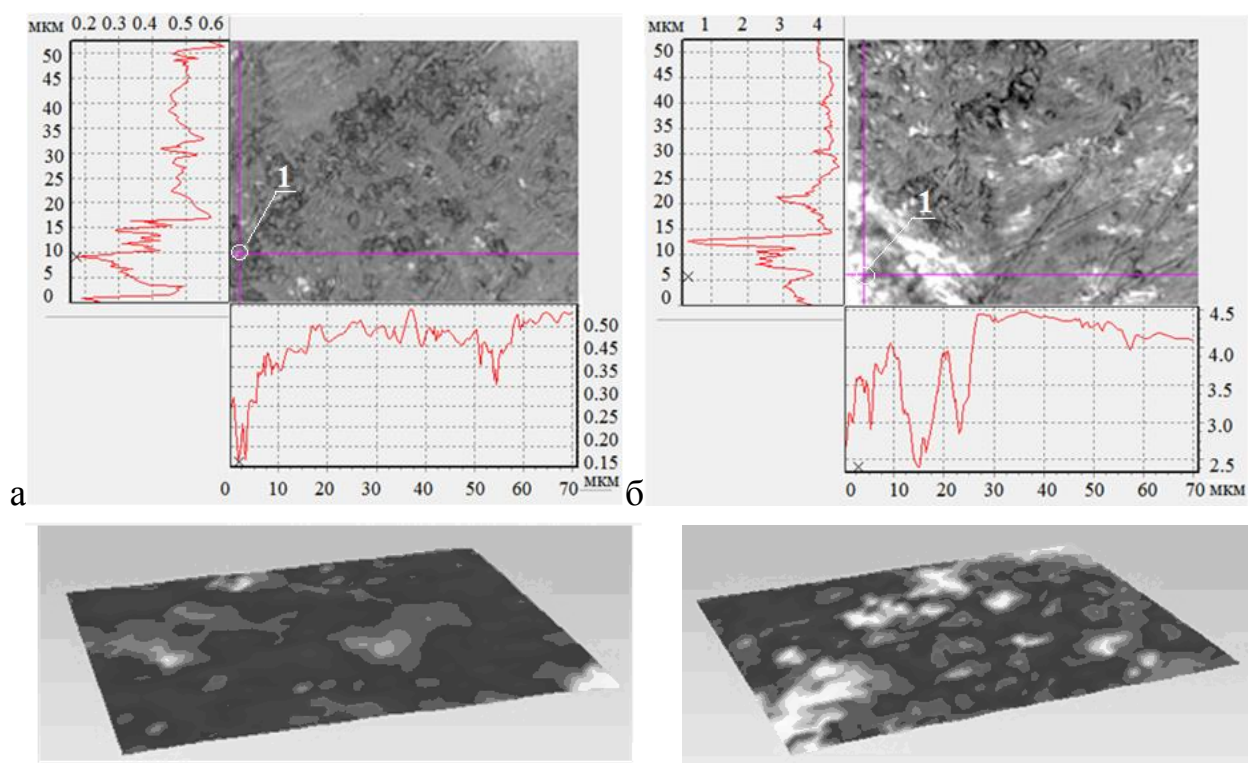


Рис. 4 – Топографія поверхні гнейсу а – до гідрокавітаційного навантаження з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку; б – після навантаження при магнітній індукції 15 мТл

Для дослідження питомої поверхневої енергії обраних зразків гірських порід визначено наступні параметри (згідно (1)):

- модуль пружності – за допомогою наноіндентометра «Мікрон Гамма»;
- радіус дії молекулярних зв'язків та відстань між сусідніми площинами розщеплення – за допомогою рентгеноструктурного дифрактометра «Regaku Ultima IV» (табл. 2).

Таблиця 2

Молекулярні параметри гірських порід, що визначають питому поверхневу енергію.

Вид гірської породи	Радіус дії молекулярних зв'язків, Å	Відстань між площинами розщеплення, Å	Вид гірської породи	Радіус дії молекулярних зв'язків, Å	Відстань між площинами розщеплення, Å
Пісковик	12	24	Гнейс	7	14
Вапняк	9	18	Граніт	12	24

На рис. 5 та 6 представлено теоретичні та експериментальні залежності питомої поверхневої енергії від магнітної індукції та довжини дифузору кавітатора.

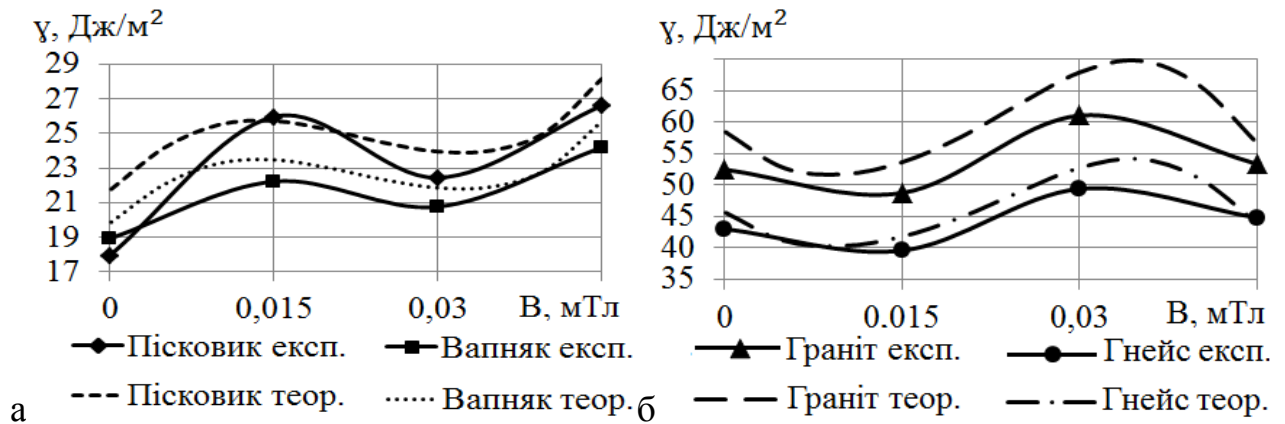


Рис. 5 – Залежності питомої поверхневої енергії від магнітної індукції пісковика та вапняку (а), граніту та гнейсу (б)

Залежності питомої поверхневої енергії від магнітної індукції та довжини дифузору кавітатора за характером повторюють залежності, модуля пружності від тих же параметрів. Це пов'язано з тим, що одним із ключових параметрів які визначають питому поверхневу енергію є пружні властивості гірських порід.

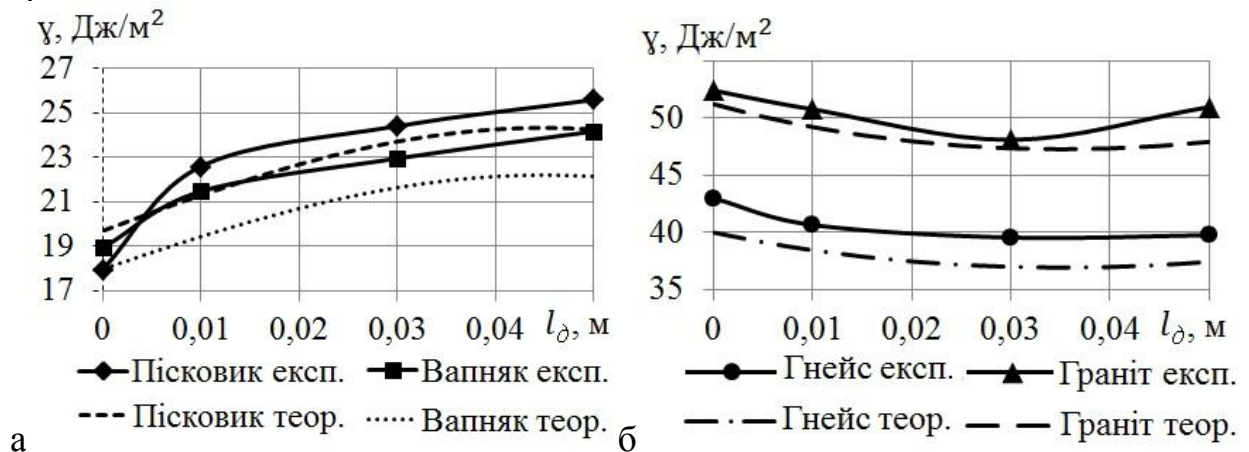


Рис. 6 – Залежності питомої поверхневої енергії від довжини дифузору кавітатора пісковика та вапняку (а), граніту та гнейсу (б)

Математична модель питомої поверхневої енергії (8) відкоригована згідно експериментальних даних, Дж/м²:

$$\gamma = \frac{2 \cdot \hbar^4 \cdot \omega^4 \cdot l_{kp} \cdot N_a^2}{Y_0 \cdot d^4 \cdot m^2 \cdot H^2 \cdot Z \cdot Q \cdot \rho \cdot \delta \cdot V^3 \cdot \zeta \cdot K_T}, \quad (11)$$

де K_T – технологічний коефіцієнт.

Математична модель (11) відрізняється від раніше створених тим, що її використання для різних гірських порід корегується технологічним коефіцієнтом K_T , який враховує магнітну індукцію та довжину дифузору

кавітатора робочого інструменту: для пружно-крихких гірських порід (12) та для пружно-пластичних гірських порід (13):

$$K_{T(K)} = \frac{(-0,1078 \cdot l_{\partial}^2 - 0,0076 \cdot l_{\partial} + 0,0016)}{(50,1728 \cdot B^3 - 3,2622 \cdot B^2 + 0,0463 \cdot B + 0,0014)^{-1}}, \quad (12)$$

$$K_{T(П)} = \frac{(0,6023 \cdot l_{\partial}^2 - 0,0542 \cdot l_{\partial} + 0,0064)}{(-119,0617 \cdot B^3 + 8,1667 \cdot B^2 - 0,1558 \cdot B + 0,0058)^{-1}}. \quad (13)$$

Технологічні коефіцієнти (12) та (13) отримано на основі регресійного аналізу експериментальних залежностей питомої поверхневої енергії від магнітної індукції та довжини дифузору робочого інструменту.

Експериментальні залежності питомої поверхневої енергії та енергоємності руйнування обраних пружно-крихких та пружно-пластичних гірських порід від магнітної індукції (рис. 7, 8) повторюють характер залежності модуля пружності від магнітної індукції. Це обумовлено тим, що значення питомої поверхневої енергії та енергоємності руйнування визначаються пружними властивостями матеріалу. Одним з ключових параметрів, який визначає ці властивості є модуль пружності. Пояснення характеру цих залежностей описано вище.

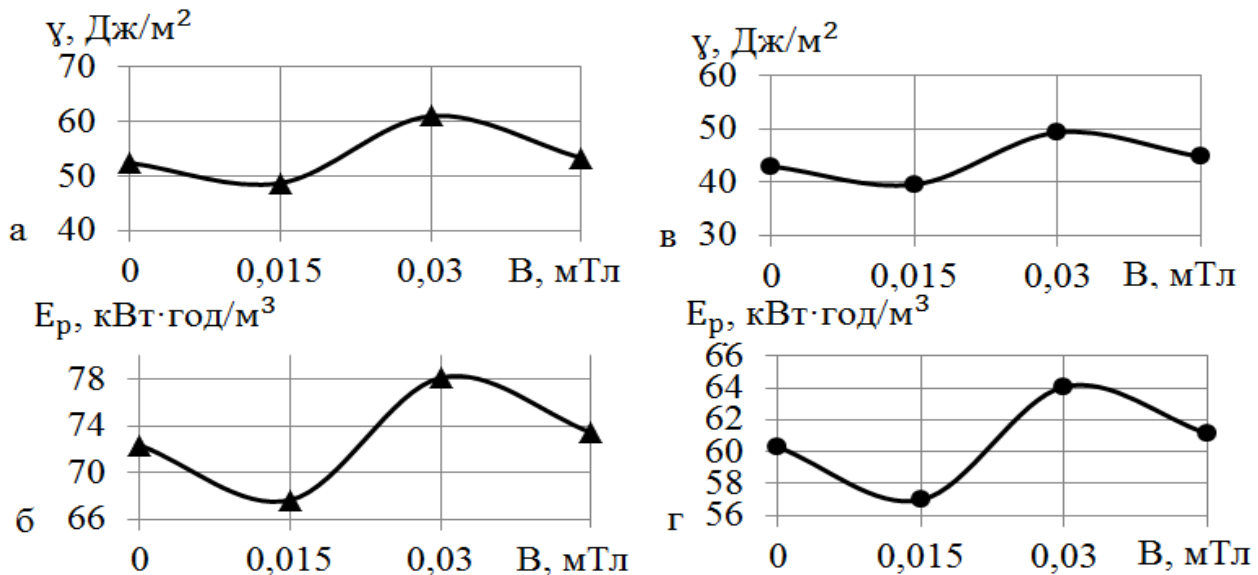


Рис. 7 – Залежності питомої поверхневої енергії (а, в) та енергоємності обертово-гідрокавітаційного руйнування (б, г) від магнітної індукції а, б – граніту; в, г – гнейсу

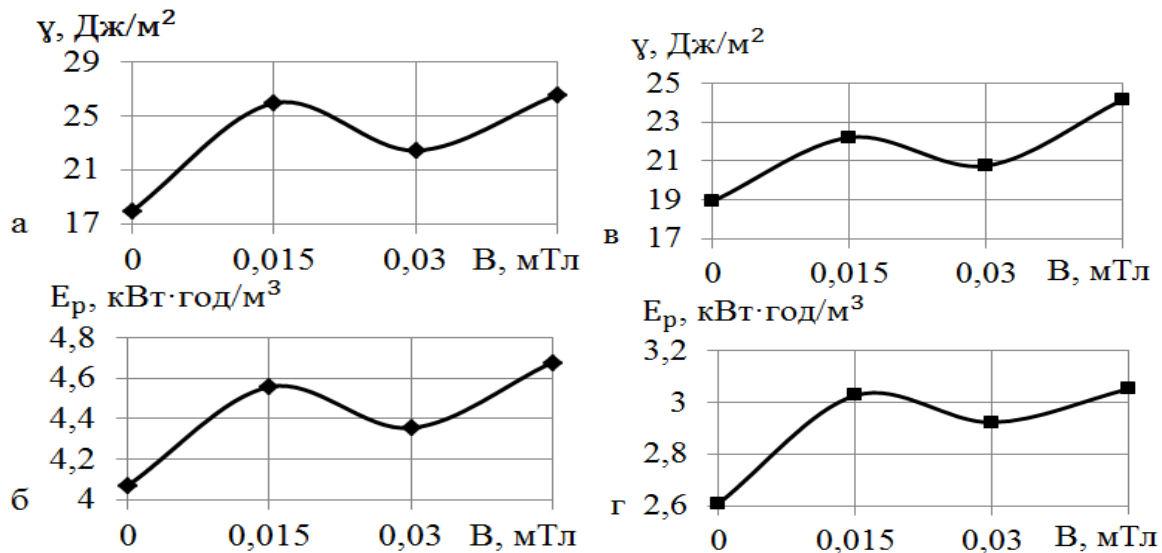


Рис. 8 – Залежності питомої поверхневої енергії (а, в) та енергоємності обертово-гідрокавітаційного руйнування (б, г) від магнітної індукції для: а, б – пісковику; в, г – вапняку

З аналізу залежностей представлених на рис. 7 та 8, зроблено висновок, що руйнування з додатковим гідрокавітаційним навантаженням з МІФКП доцільно використовувати для пружно-крихких гірських порід.

У результаті аналізу експериментальних залежностей, представлених на рис. 7 та 8 на основі методу регресійного аналізу встановлено регресійні коефіцієнти a_1 , a_2 , в. о. (табл. 3) та на їх основі проведено коригування математичної моделі енергоємності руйнування обертово-гідрокавітаційним способом з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку:

$$E_p(\Pi) = \frac{2 \cdot (a_1 \cdot \ln(\gamma) - a_2) \cdot E}{\pi \cdot \sigma_T \cdot l_{кр}}, \quad (14)$$

Таблиця 3

Регресійні коефіцієнти енергоємності руйнування гірських порід обертово-гідрокавітаційним способом з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку

Вид гірської породи	Регресійний коефіцієнт		Вид гірської породи	Регресійний коефіцієнт	
	$a_1 \cdot 10^{-8}$, в.о.	a_2 , в.о. $\cdot 10^{-9}$		a_1 , в.о. $\cdot 10^{-8}$	a_2 , в.о. $\cdot 10^{-9}$
Пісковику	2,2608	1,0391	Гнейс	33,2608	1,0391
Вапняк	2,2608	20,8393	Граніт	38,2608	1,0391

Розроблена математична модель енергоємності руйнування гірських порід (14) відрізняється від відомих тим, що враховує питому поверхневу енергію та довжину критичної тріщини.

Математичну модель (14) доцільно використовувати для пісковиків та вапняку зі значенням питомої поверхневої енергії в межах (15...30) Дж/м²; для гнейсу та граніту зі значенням питомої поверхневої енергії в межах (30...70) Дж/м².

На основі (14) побудовано залежності енергоємності руйнування від питомої поверхневої енергії, рис. 9:

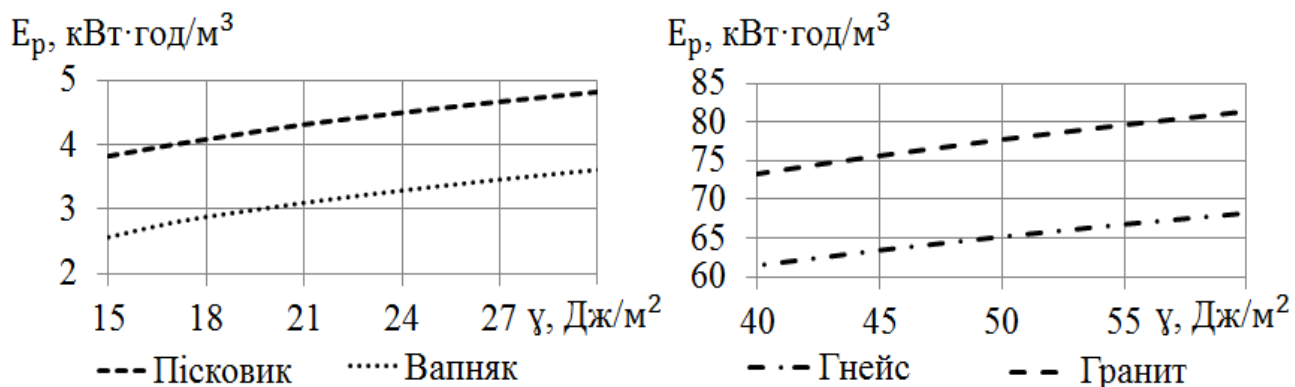


Рис. 9 – Залежності енергоємності руйнування гірських порід від питомої поверхневої енергії

Залежності мають зростаючий логарифмічний характер. Це співпадає з законом Ріттингера (1867 р.), згідно якому питома поверхнева енергія пропорційна роботі, утворення нових поверхонь матеріалу. Відповідно, зниження питомої поверхневої енергії, викликає зменшення енергоємності руйнування.

У п'ятому розділі представлена аналітична та експериментальна залежність енергоємності руйнування кварцитів Товкачівського ГЗК $E_p=f(B)$, рис. 10. Характер цих залежностей співпав з характером лабораторних залежностей $E_p=f(B)$ граніту та гнейсу, рис. 7. Пояснення цього описано вище.

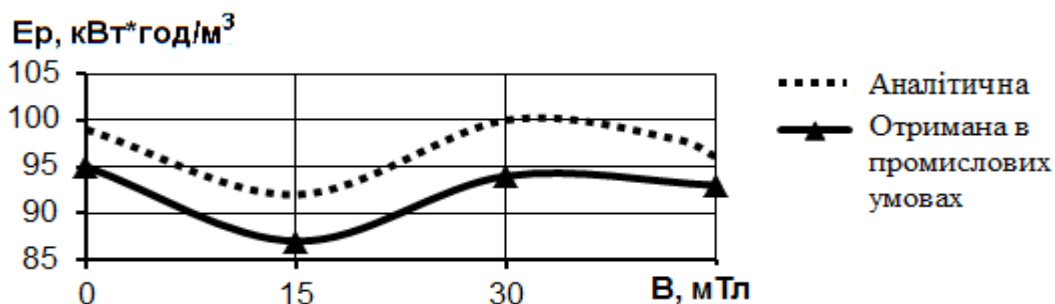


Рис. 10 – Залежності енергоємності руйнування кварцитів Товкачівського ГЗК від значення магнітної індукції різця кавітаційного

Похибка досліджень залежності енергоємності руйнування кварцитів від зміни магнітної індукції різця кавітаційного не перевищує 6 %.

Енергоємність руйнування експериментально визначалась в виробничих умовах ПрАТ "Товкачівський гірничо-збагачувальний комбінат" на буровій

установці Diames 232 (Фірма Atlas Copco, Швеція) з використанням пристроїв – ватметру Д-365 та промислового секундоміру ІВ-2. Також створено інструмент для реалізації обертово-гідрокавітаційного способу руйнування гірських порід з МІФКП, рис. 11. Корпус різця кавітаційного 1 з ріжучими кромками 4, дифузorzом кавітатора 5, промивним каналом 6 та кожухом 3 виготовлені зі сталі 40 ХН за ГОСТ4543-71. Твердосплавні вставки 7 у кількості 14 шт. виконано зі сплаву ВК8, згідно ГОСТ Р 51047-97. Матеріал магнітів 2, розміщених у корпусі інструменту – 25БА170 за ГОСТ 24063-80. Обрано саме такий тип магнітів, так як вони витримують високу робочу температуру в 723 К (450 °С), що актуально для умов нагрівання робочого інструменту в процесі тертя при бурінні.

Таким чином, завдяки застосуванню гідрокавітаційного навантаження з МІФКП при реалізації обертово-гідрокавітаційного руйнування гірських порід на кварцитовому кар'єрі Товкачівського ГЗК вдалось знизити фінансові витрати електроенергії на руйнування кварцитів зі 115,90 грн./м³ до 103,95 грн./м³, тобто на 11 %.

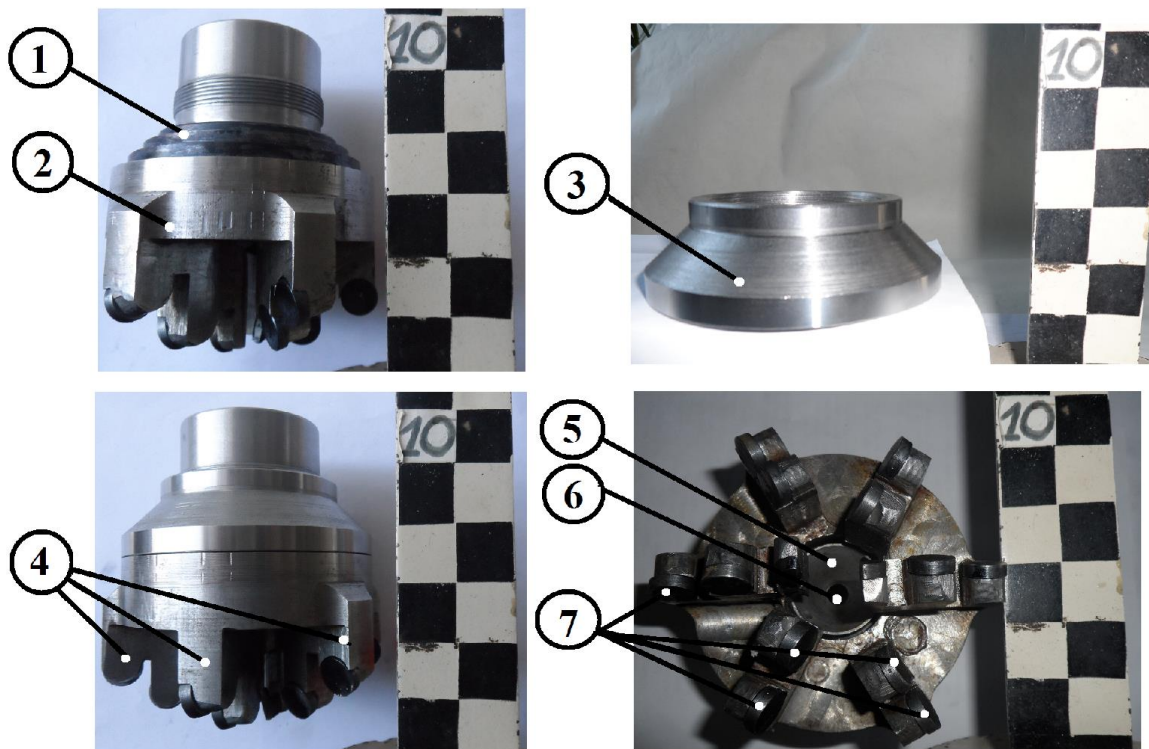


Рис. 11 – Різець кавітаційний 1 – корпус; 2 – магніти; 3 – кожух; 4 – ріжучі кромки; 5 – дифузorz кавітатора; 6 – промивний канал; 7 – твердосплавні вставки

Річний економічний ефект від впровадження комбінованого енергозберігаючого обертово-гідрокавітаційного способу з МІФКП та інструменту для його реалізації складає 22 тисячі гривень у рік. Термін окупності 2 місяці.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, у якій вирішено прикладна задача зниження енергоємності руйнування гірських порід новим комбінованим енергозберігаючим обертово-гідрокавітаційним способом з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку та інструменту для його реалізації.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Отримано залежності питомої поверхневої енергії руйнування гірських порід: спадно-зростаючі від магнітної індукції в діапазоні від 15 мТл до 45 мТл та спадні від довжини дифузору кавітатора робочого інструменту від 10 мм до 50 мм та куті його розкриття 60^0 .

2. Встановлено, що закономірність енергоємності руйнування від питомої поверхневої енергії при бурінні з гідрокавітаційним навантаженням з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку спадає за логарифмічним законом:

– для граніту з 73 кВт·год/м³ до 68 кВт·год/м³ при зниженні питомої поверхневої енергії з 52,4 Дж/м² до 48,7 Дж/м²;

– для гнейсу з 61 кВт·год/м³ до 57 кВт·год/м³ при зниженні питомої поверхневої енергії з 43,0 Дж/м² до 39,5 Дж/м².

3. Обґрунтовано режим гідрокавітаційного навантаження з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку, що забезпечив зростання кількості локальних дефектів пружно-крихких гірських порід до 20 одиниць на 1 мм², з середньою довжиною, шириною і глибиною відповідно 100, 10 і 5 мкм при магнітній індукції 15 мТл, куті розкриття дифузора 60^0 та його довжині 30 мм.

4. При гідрокавітаційному навантаженні гірських порід з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку магнітною індукцією 15 мТл:

а) модуль пружності I роду знизився для:

– граніту на 9 % зі 105,9 ГПа до 98,4 ГПа;

– гнейсу на 8 % зі 153,6 ГПа до 141,2 ГПа;

б) модуль пружності I роду зріс для:

– вапняку на 22 % від 51,8 ГПа до 66,3 ГПа;

– пісковика на 38 % від 36,0 ГПа до 58,0 ГПа.

5. Запропоновано обертово-гідрокавітаційне руйнування гірських порід з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку та створено Різець кавітаційний (Патент № 101946 МПК E21B 7/18) для його реалізації. Його використання забезпечило зниження енергоємності руйнування пружно-крихких порід на 11 %.

6. Економічний ефект від впровадження обертово-гідрокавітаційного способу руйнування гірських порід з магнітно-індукційним фокусуванням кавітаційного потоку в виробничих умовах ПрАТ “Товкачівський гірничо-збагачувальний комбінат” складає 22 тисяч гривень у рік. Термін окупності 2 місяці.

Список опублікованих праць за темою дисертації

Статті у наукових фахових виданнях:

1. Терентьев О. М. Математична модель управління питомою поверхневою енергією руйнування гірських порід [Текст] / О. М. Терентьев, І. М. Стрельцова // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського: зб. наук. праць. – 2013. – Вип. 3 (80). – С. 153 – 157. Включено до «Index Copernicus».
2. Терентьев О. М. Класифікація комбінованих способів руйнування гірських порід графами [Текст] / О. М. Терентьев, І. М. Стрельцова // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва: зб. наук. праць. – 2013. – Вип. 2 (12). – С. 74 – 80. Включено до «Index Copernicus».
3. Терентьев О. М. Планування експериментальних досліджень зміни питомої поверхневої енергії гірських порід при руйнуванні обертово-гідрокавітаційним способом [Текст] / О. М. Терентьев, І. М. Стрельцова // Енергетика: економіка, технології, екології, спецвипуск – 2014. – С. 77 – 84.
4. Terentiev O. Mechanism of creating the prefracture zone of rock formations with magnetic and hydrocavitation load [Text] / O. Terentiev, I. Streltsova. – A. Kleshchev // Metallurgical and Mining industry, ISSN 2076–0507. – 2015, No. 4. – P. 353 – 355. Включено до «Scopus».
5. Терентьев О. М. Ослаблення масиву гірських порід магнітно-гідрокавітаційним навантаженням [Текст] / О. М. Терентьев, І. М. Стрельцова, М. І. Закієв // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва: зб. наук. праць. ISSN 2074 – 1537. – 2015. – Вип 1/2015 (15). – С. 18 – 24. Включено до «Index Copernicus».
6. Терентьев О. М. Енергоємність та питома поверхнева енергія руйнування гірських порід магнітно-гідрокавітаційним навантаженням [Текст] / О. М. Терентьев, І. М. Стрельцова // Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво". – Вип. 28. – С. 29 – 35. Включено до «Google Scholar».

Патенти на корисну модель:

7. Патент України на корисну модель UA 101946, МПК E21B 7/18 (2006.01). Різець кавітаційний / О. М. Терентьев, І. М. Стрельцова. – № U 2015 03094; заявл. 03.04.2015; опубл. 12.10.2015. – Бюл. № 19/2015

Тези доповідей на науково-практичних конференціях:

8. Терентьев О. М. Поверхностная энергия горных пород / О. М. Терентьев, И. Н. Стрельцова // Проблемы недропользования. Международный форум-конкурс молодых ученых: Сб. науч. трудов. Часть 1. 24 – 26 апреля 2013 г. – Санкт-Петербург: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». С. 195 – 197.
9. Терентьев О. М. Выбор параметров управления удельной поверхностной энергией разрушения горных пород [Текст] / О. М. Терентьев, И. Н. Стрельцова // Перспективы развития горного дела и подземного строительства: материалы V междунар. науч.-техн. конф. «Энергетика.

Экология. Человек», 23 – 24 мая 2013 г. Вып. № 4. – К. : НТУУ «КПИ». – С. 188 – 192.

10. Терентьев О. М. Энергоемкость разрушения горных пород комбинированным механико-гидрокавитационным способом [Текст] / О. М. Терентьев, И. Н. Стрельцова // Theoretical & Applied Science. Materials of the International Scientific Practical Conference 30.12.2013. Serbia, Neoplanta. – p. 22 – 26. Включено до «Google Scholar».

11. Терентьев О. М. Геометрические и частотные параметры генерации импульсов вращательно-гидрокавитационного инструмента [Текст] / О. М. Терентьев, И. Н. Стрельцова // Theoretical & Applied Science. Materials of the International Scientific Practical Conference 28.02.2014. Shveden, Linkoping. – P. 54 – 59. Включено до «Google Scholar».

12. Терентьев О. М. Зниження енергоемності руйнування гірських порід за рахунок використання енергії прецесуючого кавітаційного потоку / О. М. Терентьев, І. М. Стрельцова [Текст] // «Сталий енергетичний розвиток: сучасні тенденції, технології та рішення» – 2014. Збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної та навчально-методичної конференції 24.09.14.Київ.–С. 52.

13. Терентьев О. М. Комбінований енергозберігаючий обертово-гідрокавітаційний спосіб руйнування гірських порід [Текст] / О. М. Терентьев, І. М. Стрельцова // II Аспірантські читання 2014 пам'яті А. В. Праховника: Збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної та навчально-методичної конференції, 16-17 квітня 2014, Київ. – Інститут енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ». – С. 29 – 30.

14. Терентьев О. М. Питома поверхнева енергія, як один з ключових параметрів руйнування гірських порід [Текст] / О. М. Терентьев, І. М. Стрельцова // Матеріали VII міжнародної науково-технічної конференції «Енергетика. Екологія. Людина». Інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України «КПІ», Київ, 2015. – С. 414 – 418.

АНОТАЦІЯ

Стрельцова І. М. Зниження енергоемності руйнування гірських порід магнітно-гідрокавітаційним навантаженням. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – геотехнічна і гірнича механіка. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» Міністерство науки і освіти України, Київ, 2016.

Дисертацію присвячено розробці нового енергозберігаючого комбінованого обертово-гідрокавітаційного способу руйнування гірських порід з магнітно-індукційним фокусування кавітаційного потоку. У дисертації вирішено наукове і прикладне завдання зниження енергоемності руйнування на 11 % за допомогою внесення штучної дефектності від схлопування кавітаційних каверн та зниження питомої поверхневої енергії гірських порід для гнейсу з 43,0 Дж/м² до 39,5 Дж/м² та для граніту з 52,4 Дж/м² до 48,7 Дж/м².

Розроблено математичні моделі:

– питомої поверхневої енергії гірських порід, яка відрізняється від відомих тим, що дозволяє врахувати: магнітну індукцію, довжину дифузору різця кавітаційного, діаметр, масу структурних частинок гірських порід, їх питому теплоту плавлення та густину.

– енергоємності руйнування гірських порід, яка відрізняється від відомих тим, що враховує питому поверхневу енергію.

Адекватність моделей реальному процесу перевірена експериментально.

Економічний ефект від впровадження запропонованого способу руйнування гірських порід в виробничих умовах ПрАТ “Товкачівський гірничо-збагачувальний комбінат” складає 22 тисячі гривень у рік. Термін окупності 2 місяці.

Ключові слова: енергоємність, питома поверхнева енергія, кавітація, магнітна індукція, гірські породи, дефектність.

АННОТАЦИЯ

Стрельцова И. М. Снижение энергоемкости разрушения горных пород магнитно-гидрокавитационной нагрузкой. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.09 – Геотехническая и горная механика. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» Министерство науки и образования Украины, Киев, 2016.

Диссертация посвящена снижению энергоемкости разрушения горных пород уменьшением удельной поверхностной энергии гидрокавитационной нагрузкой с магнитно-индукционной фокусировкой кавитационного потока.

Предложен новый комбинированный энергосберегающий вращательно-гидрокавитационный способ разрушения горных пород с магнитно-индукционной фокусировкой кавитационного потока и инструмент для его реализации – резец кавитационный, патент UA № 101946, МПК E21B 7/18.

В диссертации решена научная и прикладная задача снижения энергоемкости разрушения горных пород посредством внесения в их структуру искусственной дефектности схлопыванием кавитационных пузырьков.

Разработаны математические модели:

– удельной поверхностной энергии горных пород, которая отличается от известных тем, что позволяет учесть: магнитную индукцию, длину диффузора резца кавитационного, диаметр, массу структурных частиц горных пород, их удельную теплоту плавления и плотность.

– энергоемкости разрушения горных пород, которая отличается от известных тем, что учитывает удельную поверхностную энергию.

Адекватность моделей реальному процессу проверена экспериментально. Погрешность не превышает 6 %. В результате определено, что для упруго-хрупких горных пород – гнейса и гранита при снижении удельной поверхностной энергии с 43,0 Дж/м² до 39,5 Дж/м² и с 52,4 Дж/м² до

48,7 Дж/м², энергоемкость разрушения уменьшается с 61 кВт·ч/м³ до 57 кВт·ч/м³ и с 73 кВт·ч/м³ до 68 кВт·ч/м³, соответственно.

Исследованы количественная характеристика и геометрические параметры искусственной дефектности горных пород при гидрокавитационной нагрузке с магнитно-индукционной фокусировкой кавитационного потока на примере гранита: среднее количество образованных искусственных локальных дефектов составляет 20 единиц на 1 мм², длиной 100 мкм, шириной 10 мкм и глубиной 5 мкм.

Установлен рабочий режим гидрокавитационной нагрузки с магнитно-индукционной фокусировкой кавитационного потока: магнитная индукция 15 мТл, угол раскрытия диффузора 60° и его длина 30 мм.

Экономический эффект от внедрения нового вращательно-гидрокавитационного способа с магнитно-индукционной фокусировкой кавитационного потока в производственных условиях ЗАО "Толкачевский горно-обогатительный комбинат" составляет 22 тысячи гривен в год. Срок окупаемости 2 месяца.

Ключевые слова: энергоемкость, удельная поверхностная энергия, кавитация, магнитная индукция, энергоемкость, горные породы, дефектность.

ABSTRACT

I. Streltsova. Rocks destruction specific energy decreasing by magnetic hydrocavitation stressing. – Manuscript.

Thesis for a candidate degree in Technical Sciences, specialty 05.15.09 – Geotechnical and Mining Engineering. – National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2016.

The dissertation is dedicated to the development of new energy-saving combined method of rock destruction with cavitation focusing magnetic induction. Agreed and applied scientific target to reduce energy intensity destruction by 11 % by means of making manufactured cavitation voids collapse defectiveness and reducing the rock specific surface energy (from 43,0 J/m² to 39,5 J/m² for gneiss and from 52,4 J/m² to 48,7 J/m² for granite) is solved in the paper.

The following Mathematical models were developed:

- rock specific surface energy different from already known for rendering possible taking into account: magnetic induction, cutters cavitation diffuser length, diameter, rock formation structural particles weight, specific heat of fusion, density.

- energy intensity of rock that is different from the known that takes into account the specific surface energy and the critical crack length.

Models adequacy to the real process is tested experimentally.

The cost advantages of providing of the proposed method of rock destruction under production-line conditions of in PJSC "Tovkachivsky mining processing plant" is 22 thousand hryvnas per year. Payback period makes 2 months.

Keywords: energy, specific surface energy, cavitation, magnetic induction, rock formation, defectiveness.

Стрельцова Інна Миколаївна

Зниження енергоємності руйнування гірських порід магнітно-гідрокавітаційним навантаженням

05.15.09 – Геотехнічна і гірнича механіка

(Автореферат)